

УДК 620.92

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КРЕМНИЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПРИРОДНЫХ И АППАРАТНЫХ ФАКТОРОВ

А.В. Юрченко, А.В. Волгин, А.В. Козлов\*

Томский политехнический университет

\*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

E-mail: niip@inbox.ru

Обоснована статистическая модель работы кремниевой солнечной батареи при воздействии основных факторов окружающей среды (солнечная радиация, влажность, температура, скорость ветра). Представлена методика прогнозирования вырабатываемой мощности солнечной батареи с точностью до 5 %, основанная на лабораторных исследованиях и учете климатических данных.

### Ключевые слова:

Солнечные батареи, солнечные энергетические установки, статистическая модель вырабатываемой энергии.

С 1996 г. в г. Томске создана уникальная экспериментальная база для проведения полевых испытаний солнечных энергетических систем, в состав которой входят: TOR-станция контроля параметров атмосферы, мобильная станция мониторинга работы солнечных батарей, демонстрационная зона работы 240 Вт солнечного энергетического комплекса, лабораторные испытательные стенды. На базе 12 летних натурных испытаний кремниевых солнечных батарей мощностью от 5 до 650 Вт, проведенных в Сибири и Дальнем Востоке построена адекватная физико-математическая модель работы кремниевых солнечных батарей под воздействием климатических и аппаратных факторов.

В связи с тем, что стоимость традиционных источников энергии стремительно растет, в регионах без стационарной сети электропитания вместо дизель-электрогенераторов все чаще применяют солнечные энергетические установки (СЭУ) [1]. Это не только позволяет снизить экологическую нагрузку на экосферу, но и экономически выгодно. Так, например, в Приморском крае на удаленной ретрансляционной станции для электропитания используют дизель-генератор, для которого периодически поставляют топливо. Итоговая себестоимость электроэнергии составляет 11 р/кВт·ч. В то же время при установке СЭУ мощностью 200 Вт себестоимость электроэнергии составит 7 р/кВт·ч при расчете на 10 летний срок службы системы.

Таким образом, исследование работы и прогноз использования СЭУ и солнечных батарей (СБ) в регионах Сибири и Дальнего Востока являются актуальной научной задачей.

В отличие от традиционных источников энергии, работа СЭУ зависит от многих факторов:

- аппаратных, обусловленных конструкцией и технологией изготовления СБ, углом размещения по отношению к горизонту;
- климатических, обусловленных воздействием различных климатических параметров на выходные энергетические характеристики СБ. К таким факторам можно отнести солнечную радиацию, температуру воздуха, влажность, скорость ветра, концентрации аэрозолей.

Однако при расчете конструкции для местности, где планируется использовать СЭУ, недостаточно учитываются климатические особенности региона и аппаратные факторы, обусловленные ее использованием. Для решения данной задачи необходимо разработать модель работы СБ с учетом воздействия доминирующих климатических и аппаратных факторов, а также провести натурные испытания СЭУ при одновременном мониторинге параметров атмосферы и характеристик ее элементов.

### Обзор способов расчета вырабатываемой мощности СБ

Все способы расчета вырабатываемой мощности СБ выполняются по следующим четырем классам моделей.

*В первой* и наиболее простой модели вырабатываемая мощность считается путем умножения КПД СБ на мощность солнечного излучения, которая соответствует тому региону, где будет располагаться СБ. Этот способ расчета имеет наибольшую погрешность и носит оценочный характер. Погрешность оценки составляет до 40...50 %.

*Вторая модель* — модель, в которой вводятся ряд поправочных коэффициентов для учета влияния ряда внешних факторов на КПД СБ:

$$\eta_{CDE} = r_{SP} \cdot r_T \cdot r_G \cdot r_{IA} \cdot r_X \cdot \eta_{STC},$$

где  $\eta_{STC}$  — КПД СБ, измеренный при стандартных условиях ( $T=25^\circ\text{C}$ , мощность излучения  $1000\text{ Вт/м}^2$ );  $r_{SP}$  — коэффициент, учитывающий отличие спектра солнечного излучения от спектра АМ 1,5;  $r_T$  — коэффициент, учитывающий отличие температуры, при которой работает СБ, от стандартной;  $r_G$  — коэффициент, учитывающий различия между мощностью солнечного излучения и стандартной мощностью;  $r_{IA}$  — коэффициент, учитывающий угол наклона СБ. К недостаткам такой модели можно отнести то, что эти коэффициенты применимы только для небольшой территории. В этом случае погрешность оценки составляет 20 %.

*Третья модель* — физическая, в которой расчет мощности СБ проводится на основе решения уравнений переноса для p-n перехода полупроводни-

кового материала с учетом разогрева СБ. Недостатком физической модели является то, что для расчета мощности СБ необходимо знать спектр солнечного излучения в каждый конкретный момент. Замена реального спектра на функцию Планка, описывающей излучение абсолютно черного тела при 5800 К, приводит к ошибке порядка 10 %. Так же, для физической модели необходимо знать время жизни носителей заряда, коэффициенты диффузии, концентрации примесей и т. д., что не всегда представляется возможным.

*Четвертая модель* – статистическая. При анализе результатов научных исследований часто имеет место ситуация, когда количественное изменение изучаемого явления зависит от нескольких причин (факторов). При проведении экспериментов в такой множественной ситуации исследователь записывает показания приборов о состоянии функции отклика и всех факторов, от которых она зависит. Результатами наблюдений является матрица. В этом случае методы обработки данных наблюдений базируются на положении теории вероятности и математической статистики. Для статистических методов построения эмпирических зависимостей очень важно, чтобы результаты наблюдений подчинялись нормальному закону распределения, поэтому проверка нормальности распределения – основное содержание предварительной обработки результатов наблюдений. Именно эта модель используется в данной работе для создания методики прогнозирования работы СБ в регионах Сибири и Дальнего Востока.

#### Анализ работы СБ в период с 1996–2003 гг.

В этот период СБ была подключена к одному из цифровых каналов ТОР-станции мониторинга атмосферных параметров [2] и была установлена на её крыше под углом 45 градусов к горизонту, ориентирована на Солнце в два часа дня. Нагрузкой являлось сопротивление величиной 5 Ом. Контрольный параметр – напряжение на этой нагрузке. Ток солнечной батареи создал на нагрузке 5 Ом при энергетической освещенности 1000 Вт/м<sup>2</sup> (и спектру Солнца, соответствующей АМ 1,5) и температуре 25 °С напряжение около 4 В. Напряжение холостого хода исследуемой батареи при этих же условиях составляло 21 В. ТОР-станция обеспечивала мониторинг по 38 параметрам. В результате проведенного мониторинга была собрана база данных, состоящая из следующих параметров: метеоданные, газовый и аэрозольный состав атмосферы, ток короткого замыкания СБ.

Анализ проведенных испытаний позволил сформировать комплекс доминирующих климатических и аппаратных факторов, оказывающий влияние на работу СБ в натурных условиях и определить эффективное время использования СБ в условиях г. Томска [3].

Время эффективной работы СБ в климатических условиях г. Томска: с 10 до 19 часов и в течении

марта-сентября, системы слежения за солнцем позволяют увеличить отбор мощность до 30 %. За 1 год на 1 м<sup>2</sup> земной поверхности приходится (в среднем за 6 лет) 1165 кВт·ч солнечной энергии, т. е. батареи МС-14-10 площадью 0,18 м<sup>2</sup> с КПД=13 % вырабатывает в среднем 28 кВт·ч в год.

Комплекс доминирующих климатических и аппаратных факторов учитывает влияние следующих параметров и факторов:

- *Солнечная радиация.* Преобразование энергии в СБ основано на фотовольтаическом эффекте в неоднородных полупроводниковых структурах при воздействии на них солнечного излучения. В отличие от других источников тока характеристики солнечного элемента зависят от количества падающего на ее поверхность солнечной радиации. Например, набежавшее облако может снизить выходную мощность более чем на 50 %. На выходные параметры СБ будет влиять не только суммарная солнечная радиация, но и положение Солнца на небосводе. Чем ближе положение солнца к зенитному положению, тем больший ток будет вырабатывать СБ, но при этом будет иметь место и более сильный разогрев рабочей поверхности СБ.
- *Температура воздуха и скорость ветра.* При работе СБ без охлаждения в ней выделяется большое количество тепловой энергии и рабочая температура возрастает. Значительное повышение температуры влияет на концентрацию носителей заряда, а также на процесс поглощения солнечной радиации, в результате чего изменяются выходные параметры СБ. Ее рабочая температура будет зависеть от температуры окружающего воздуха и скорости ветра, определяющая интенсивность теплообмена.
- *Влажность воздуха.* На параметры СБ заметно влияет влажность воздуха, во-первых, потому что одна из полос поглощения солнечного излучения водяным паром лежит в диапазоне наиболее эффективной спектральной области работы СБ, и во-вторых, влажность влияет на процессы теплообмена между СБ и окружающей средой.
- *Вольтамперная характеристика СБ.* Основные характеристики СБ определяются из ее измеренной ВАХ, а именно КПД, ток короткого замыкания (КЗ) и напряжение холостого хода (ХХ). Так как условия вышеописанного эксперимента не позволили оценить влияние климатических факторов на эти параметры, для дальнейшего проведения исследований была разработана мобильная станция мониторинга работы СБ.

#### Мобильная станция мониторинга работы СБ

Для расширения базы данных и оперативного контроля в различных регионах в конце 2004 г. в лаборатории физики солнечных элементов ЭФФ ТПУ была спроектирована мобильная станция для

испытания СБ. Она позволяет измерять ВАХ СБ, температуру ее рабочей поверхности, температуру, влажность и давление воздуха.

Мобильная станция мониторинга работы солнечной батареи содержит эквивалент нагрузки (ЭН), блок управления, средства для измерения параметров учитывающих климатические и аппаратные факторы: датчик температуры воздуха (ДТВ), датчик давления воздуха (ДДВ) датчик влажности воздуха (ДТВ), датчик температуры рабочей поверхности солнечной батареи (ДТП), средства для измерения суммарной солнечной радиации – пирометр (П). Эквивалент нагрузки и измерительные средства соединены с блоком управления, а эквивалент нагрузки имеет вход для соединения его с исследуемой солнечной батареей. Мобильная станция разработана на основе микроконтроллера PIC 16F877 и обеспечивает синхронизацию с ПЭВМ посредством платы сбора данных LA20USB.

На рис. 1 приведена блок схема мобильной станции мониторинга работы солнечной батареи.

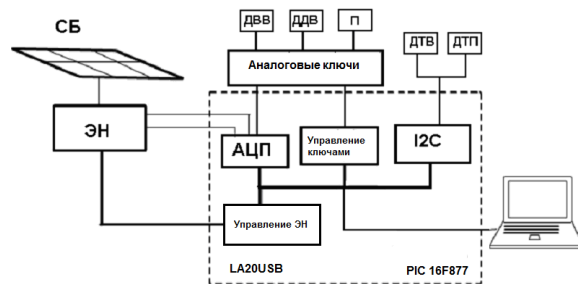


Рис. 1. Блок-схема системы мониторинга работы солнечной батареи

Программа управления мобильной станцией разработана на языке программирования Delphi. Функции программы заключаются в управлении и контроле процесса измерения и обработки и сохранения полученных данных. Программа имеет два режима работы: автоматический и ручной. В автоматическом режиме измерения проводятся в соответствии с введенными заранее настройками. Ручной режим предназначен для настройки и контроля правильности работы мобильной станции, а также для разовых измерений.

В течение 2004–2008 гг. были проведены испытания различных типов СБ (мощностью от 5 до 650 Вт) в регионах Сибири и Дальнего Востока (оз. Байкал, г. Томск, Новосибирск, Иркутск, Абакан, Владивосток).

С использованием мобильной станции для батареи типа ФСМ 25/14 были получены зависимости напряжения холостого хода, КПД, тока короткого замыкания солнечной батареи от рабочей температуры, рис. 2.

Из рис. 2 следует, что при увеличении температуры солнечной батареи с 10 до 50 °С напряжение ХХ уменьшается с 19 до 12 В, а КПД падает с 13 до 5 %. При этом разница температуры воздуха и солнечной батареи составляет от 10 до 30 °С. В предыдущем эксперименте температура солнечной батареи не измерялась, и поэтому не были четко оценены зависимости параметров СБ от температуры ее рабочей поверхности. По результатам настоящего эксперимента можно сказать, что температурный коэффициент напряжения холостого хода  $\Delta U_{\text{ХХ}}/\Delta T = -0,2 \text{ В/}^\circ\text{С}$ ; температурный коэффициент КПД  $\Delta \eta/\Delta T = -0,22 \text{ \%}/^\circ\text{С}$ .

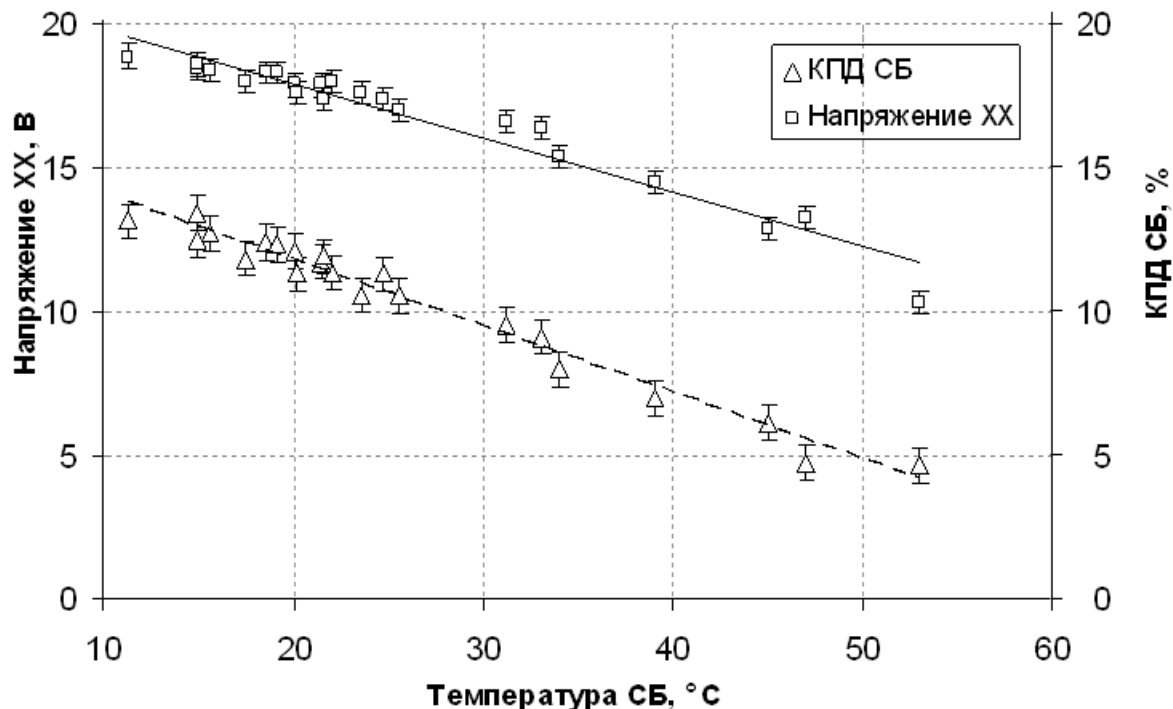
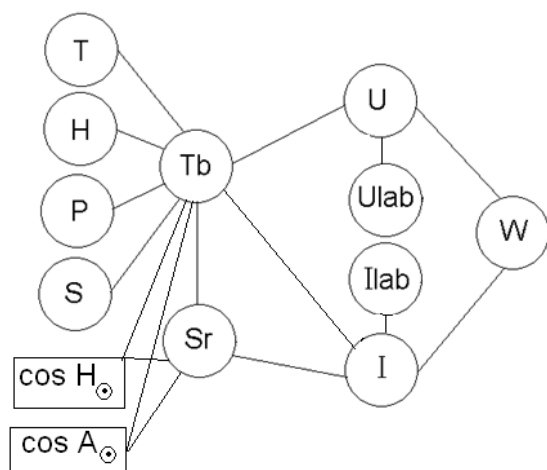


Рис. 2. Зависимости параметров солнечной батареи от рабочей температуры

В результате проведенных исследований с использованием мобильной станции была собрана база данных, включающая: даты, времени проведения измерений, метеопараметров, температуры СБ и ее характеристик. С учетом данных, собранных с 1996 г., объем базы данных составил более чем 20000 записей. Такое количество данных достаточно для проведения статистического анализа и построения уравнений регрессии.

### Статистическая модель работы СБ

Первым этапом регрессионного анализа является определение вероятностного взаимного влияния параметров друг на друга. Для этого, используя множественный корреляционный анализ, были рассчитаны парные коэффициенты корреляции, характеризующие тесноту связи между факторами, влияющими на работу СБ. Затем, используя парные коэффициенты корреляции, был построен следующий граф, рис. 4.



**Рис. 3.** Граф работы фотоэлектрических модулей:  $T, H, P$  – температура, влажность и давление воздуха;  $S$  – скорость ветра;  $\cos H$  – косинус угла наклона Солнца над горизонтом,  $\cos A$  – азимут Солнца,  $T_b$  – температура СБ;  $S_r$  – солнечная радиация;  $U_{lab}, I_{lab}$  – напряжение и ток СБ, измеренные в лабораторных условиях;  $W$  – мощность, вырабатываемая СБ

На рис. 4 прямыми линиями обозначены значимые парные коэффициенты корреляции.

Известно, что максимальная вырабатываемая мощность СБ:

$$P_{\text{раб}} = U_{\text{раб}} \cdot I_{\text{раб}}, \quad (1)$$

где  $U_{\text{раб}}, I_{\text{раб}}$  – рабочее напряжение и ток.

Обычно, при производстве и последующих лабораторных испытаниях СБ в основном определяются ток короткого замыкания ( $I_{\text{кз}}$ ) и напряжения холостого хода ( $U_{\text{хх}}$ ). Известна формула, определяющая зависимость максимальной вырабатываемой мощности СБ от тока КЗ и напряжения холостого хода.

$$P_{\text{work}} = K \cdot U_{\text{хх}} \cdot I_{\text{кз}},$$

где  $K$  – коэффициент заполнения ВАХ.

Тогда можно записать:

$$U_{\text{раб}} \sim K_{\text{хх}} \cdot U_{\text{хх}}; I_{\text{раб}} \sim K_{\text{кз}} \cdot I_{\text{кз}},$$

где  $K_{\text{хх}}$  и  $K_{\text{кз}}$  – коэффициенты, учитывающие влияние климатических, аппаратных и технологических факторов.

В свою очередь напряжение холостого хода и ток короткого замыкания, измеренные в лабораторных условиях, будут отличаться от реальных в силу воздействия климатических особенностей того или иного региона.

Используя базу данных, собранную в период с 1996 по 2007 гг., можно применить статистические и вероятностные методы анализа для построения уравнений регрессий.

Для того, чтобы рассчитать максимальную вырабатываемую мощность СБ, необходимо учесть климатические факторы, которые будут влиять на напряжение и ток СБ. Такую задачу можно решить, используя многофакторный анализ, принцип которого заключается в построении такого уравнения плоскости в  $(p+1)$ -мерном ( $p$  – число факторов) пространстве, отклонение результатов наблюдений  $y_i$  от которой были бы минимальны. Или другими словами, следует вычислить значения коэффициентов  $b_0, b_j$  в линейном полиноме:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n x_i b_i,$$

где  $y$  – функция отклика;  $x$  – факторы, влияющие на функцию отклика.

Для статистических методов построения эмпирических зависимостей очень важно, чтобы результаты наблюдений подчинялись нормальному закону распределения. Поэтому необходимо было проверить на нормальность распределения следующие величины:

- напряжение холостого хода;
- ток короткого замыкания;
- разницу между температурой воздуха и температурой СБ.

В ходе анализа данных было показано, что эти величины имеют нормальный закон распределения.

В результате многофакторного регрессионного анализа были получены следующие уравнения:

Температура рабочей поверхности:

$$T_{\text{СБ}} = T_{\text{лаб СБ}} + 0,81 \cdot (T_{\text{возд}} - T_{\text{лаб возд}}) - 0,06 \cdot HUM - 0,01 \cdot Press - 0,24 \cdot SPD + 0,06(SR_{\text{СБ}} - SR_{\text{лаб}}), \quad (2)$$

где  $T_{\text{лаб СБ}}$  – температура СБ, измеренная в лабораторных условиях;  $T_{\text{возд}}$  – температура воздуха;  $T_{\text{лаб возд}}$  – температура воздуха, измеренная в лабораторных условиях;  $HUM$  – влажность воздуха, %;  $Press$  – давление воздуха, мм. рт.ст.;  $SPD$  – скорость ветра, м/с;  $SR_{\text{лаб}}$  – суммарная солнечная радиация установленная на имитаторе в лабораторных условиях (обычно 1000 Вт/м²).

Напряжение холостого хода СБ

$$U_{\text{хх}} = U_{\text{хх лаб}} - 0,1 \cdot (T_{\text{СБ}} - T_{\text{лаб СБ}}),$$

где  $U_{xx\text{,лаб}}$  – напряжение холостого хода СБ, измеренное в лабораторных условиях.

Рабочее напряжение СБ:

$$U_{\text{раб}} = 0,728 \cdot U_{xx}$$

Ток короткого замыкания СБ:

$$I_{\text{кз}} = I_{\text{кз,лаб}} + 0,01 \cdot (T_{\text{СБ}} - T_{\text{лаб СБ}}) - 0,004 \cdot HUM + 0,005 \cdot (SR_{\text{СБ}} - SR_{\text{лаб}})$$

где  $I_{\text{кз,лаб}}$  – ток короткого замыкания, измеренный в лабораторных условиях.

Рабочий ток СБ:

$$I_{\text{раб}} = 0,763 I_{\text{кз}}$$

Расчет максимальной мощности, отдаваемой в нагрузку производится по формуле (1).

Результаты расчета мощности по эмпирической модели представлены на рис. 4 в виде хода расчетной и измеренной мощности СБ.

Для сравнения регрессионных уравнений с другими моделями были выбраны результаты измерений одного произвольно выбранного дня, рис. 5. В этот день отсутствовала облачность, средняя температура составляла +11 °С. Были проведены расчеты выработанной энергии СБ по различным моделям, включая предлагаемую. Также на график нанесена произведенная энергия СБ, которая измерялась мобильной станцией.

Видно, что расчетная кривая хорошо совпадает с измеренной. Полученные уравнения регрессии

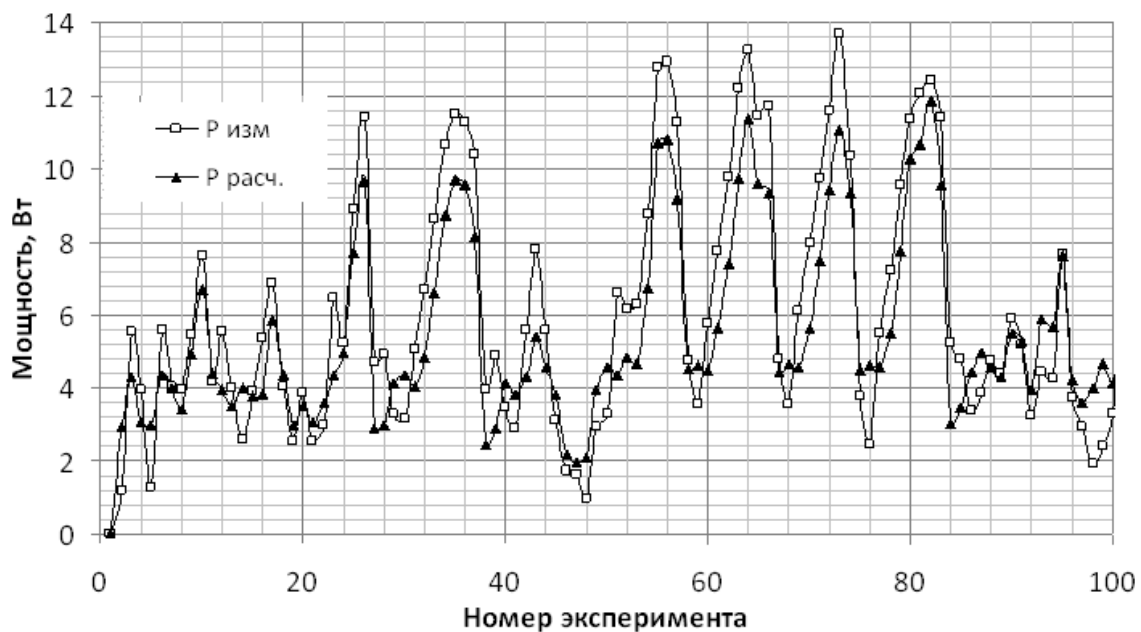


Рис. 4. Ход максимальной мощности

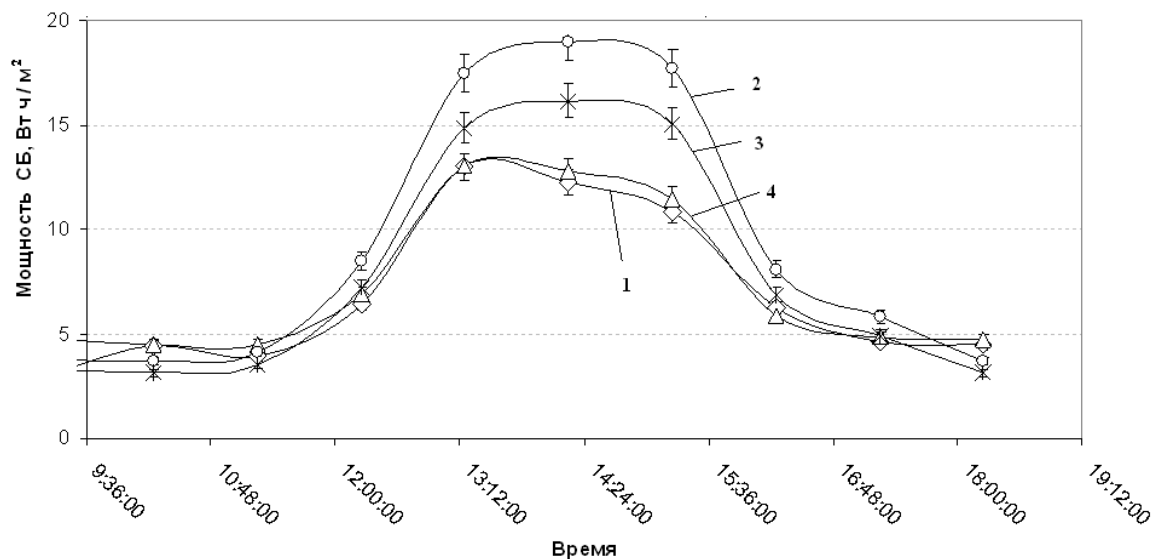
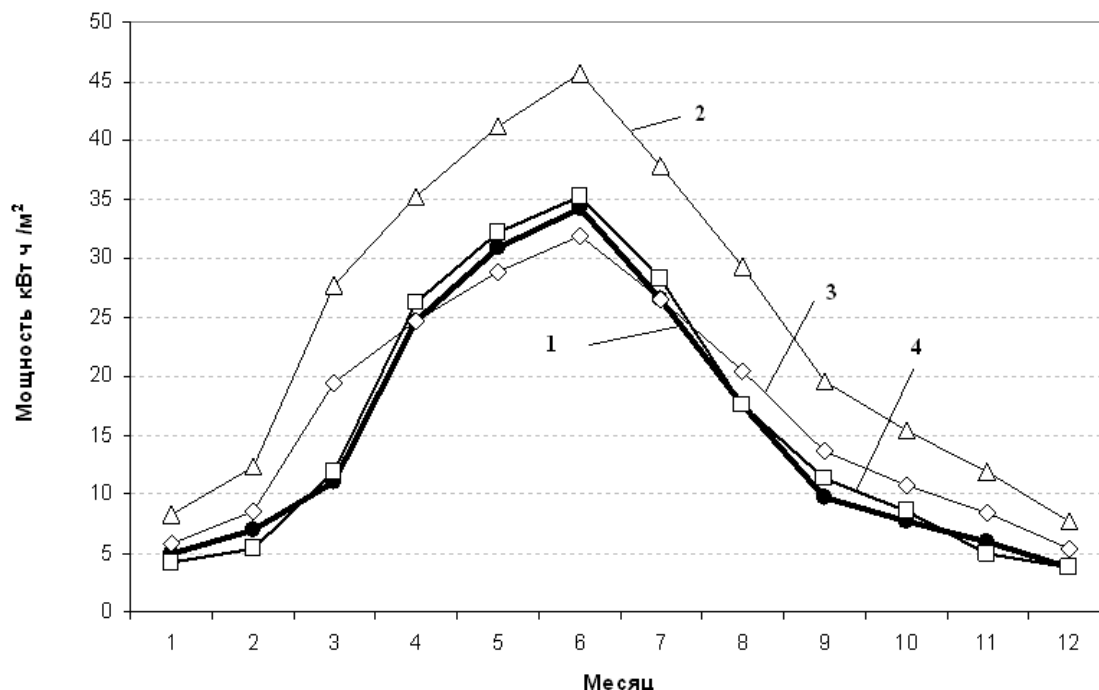


Рис. 5. Сравнение мощностей СБ, рассчитанных по различным моделям: 1) реальной, для сравнения, 2) на основе использования КПД СБ, 3) на основе поправочных коэффициентов, 4) предлагаемой



**Рис. 6.** Сравнение прогнозов выработки мощностей СБ с использованием различных моделей: 1) реальной мощности за 2005 г., 2) на основе использования КПД СБ, 3) на основе поправочных коэффициентов, 4) предлагаемой

обеспечивают погрешность расчета суммарной выработанной энергии не хуже 5 %. Другие модели показали неудовлетворительные результаты.

Так, ошибка оценки суммарной мощности для модели КПД составила 32 %, а для модели поправочных коэффициентов 15 %.

Таким образом, задача построения статистической модели вырабатываемой энергии СБ выполнена. Для использования этой модели при проектировании СЭУ необходимо усовершенствовать методику определения параметров СБ в лабораторных условиях. Обычно измерения напряжения ХХ и тока КЗ производятся за небольшой отрезок времени – освещают СБ, измеряют напряжение ХХ и ток КЗ, после чего испытания прекращаются. Предлагается измерять ВАХ СБ до тех пор, пока температура СБ не примет максимальное значение. Это позволяет определить температуру СБ, измеренную в лабораторных условиях, значение которой используется в уравнении регрессии (2). Кроме того, такой метод измерения позволяет уточнить температурные коэффициенты СБ. Исходя из вышесказанного, предлагается усовершенствованная методика прогнозирования:

1. В лабораторных условиях при стандартных значениях температуры воздуха (+25 °С) и суммарной солнечной радиации (1000 Вт/м²) производятся измерения напряжения холостого хода, тока короткого замыкания, температуры солнечной батареи, коэффициента полезного действия. Испытания продолжаются до тех пор,

пока температура СБ не примет максимальное значение.

2. Производится анализ метеоусловий, в которых будет работать СБ. Для этого из метеорологических справочников выбирают среднемесячные, среднесуточные значения температуры, влажности, давления воздуха, суммарной солнечной радиации и т. д.
3. Рассчитывается приходящая на СБ суммарная солнечная радиация из условий местоположения СБ, её угла наклона относительно горизонта, а также положения Солнца на небосводе.
4. Используя полученные регрессионные уравнения, рассчитывается температура поверхности СБ, напряжение холостого хода, ток короткого замыкания, рабочий ток и рабочее напряжение, а затем максимальная мощность, отдаваемая в нагрузку.
5. По полученным значениям делается вывод о порядке использования СБ в данном регионе.

Используя данные суммарной солнечной радиации и метеопараметров для г. Томска, по разным моделям было рассчитано количество энергии, которое выработала СБ в 2005 г., рис. 6.

Из рис. 6 видно, что предлагаемая в работе модель наилучшим образом прогнозирует вырабатываемую энергию СБ в различные месяцы года. Погрешность прогноза не превысила 5 %. Суммарная мощность в период с марта по октябрь составила 160 кВт·ч/м².

## Выводы

1. Разработана статистическая модель работы кремниевой солнечной батареи. Выведены уравнения, с помощью которых по измеренным в лабораторных условиях характеристикам и справочным метеоданным можно оценить вырабатываемую мощность с погрешностью до 5 %.
2. Выполнен анализ долговременных испытаний кремниевых солнечных батарей и обоснован комплекс климатических и аппаратных факторов, оказывающих влияние на их работу.
3. Спроектирована и изготовлена мобильная станция мониторинга работы солнечной батареи, контролирующая ее основные электрофизические характеристики совместно с температурой, влажностью, давлением воздуха, скоростью ветра, суммарной солнечной радиацией.
4. С использованием мобильной станции проведены испытания кремниевой солнечной батареи в различных регионах Сибири и Дальнего Востока. Создана база данных, состоящая из метеопараметров и параметров исследуемых батарей.
5. На примере г. Томска спрогнозированы и определены оптимальные режимы работы солнечной батареи. Показано, что кремниевая солнечная батарея в течение года способна выработать 160 кВт·ч/м<sup>2</sup>.

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ МК-5765.2008.8.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов Н.Н. Прямое преобразование энергии для автономной энергетики // Энергия: экономика, техника, экология. — 2000. — № 8. — С. 23–34.
2. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д. и др. Автоматический пост для мониторинга малых газовых составляющих атмосферного воздуха // Метеорология и гидрология. — 1999. — № 3. — С. 110–118.
3. Yurchenko A., Kozlov A., Volkov A. Climatic and hardware factors influencing the output performances of silicon modules in Siberia and the far east conditions // Proc. of 23<sup>rd</sup> European Photovoltaic Solar Energy Conference. — Valencia, Spain, 4–8 September 2008. — P. 2989–2991.

Поступила 02.04.2009 г.

УДК 628.93.000.25

## СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ ОБЩЕГО И КОМБИНИРОВАННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

В.Д. Никитин, К.П. Пашник, А.В. Трубач

Томский политехнический университет  
E-mail: ksandra007@mail2000.ru

Рассматриваются общая и комбинированная системы освещения с энергетической и экономической точек зрения. Предложено математическое описание области, где целесообразно применение местного освещения. Исследуется соотношение показателей общего и местного освещения для создания «единичной освещенности».

### Ключевые слова:

Нормирование освещения, общее освещение, местное освещение, комбинированное освещение, освещенность.

## Введение

Российские осветительные нормы [1] регламентируют 2 системы освещения: общее (ОО, равномерное или локализованное) и комбинированное (КО, общее + местное); при КО освещенность  $E_{КО} > E_{ОО}$ , но по качеству освещения — распределению яркости в поле зрения — оно уступает ОО. Поставлена задача сравнить системы ОО и КО по показателям:

- энергетическим — мощности источников света общего и местного освещения;
- экономическим — капитальным и эксплуатационным затратам.

## 1. Энергетические показатели

1.1. Д.П. Матев [2] высказал мнение, что при использовании местного освещения (МО) снижается мощность, затрачиваемая на освещение. В ряде отечественных изданий появились «вторичные» материалы, повторявшие доводы и формулы Д.П. Матева (иногда и без ссылки на его авторство).

Анализ показал ошибочность предложенной Д.П. Матевым методики расчета экономии мощности, поскольку уязвимо само исходное предположение в [2]: «При некоторых допущениях можно считать, что отношение уровней освещенности, создаваемой светильниками общего освещения в системах комбинированного и общего освещения, равно